

レアメタルとレアアース

2011年10月15日(土)

井華会

岡部陽二

URL; <http://www.y-okabe.org>

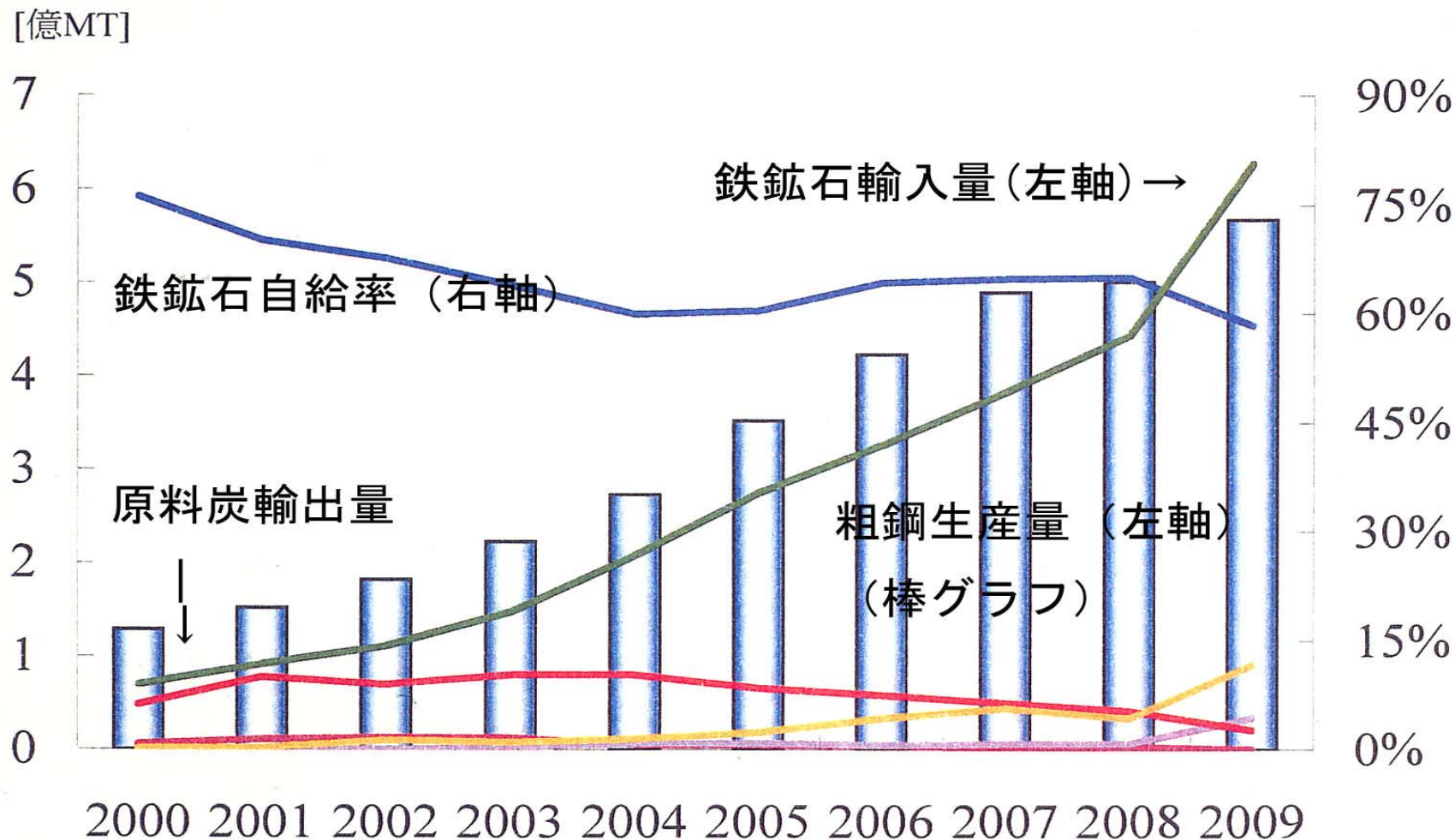
E-Mail; y-okabe@hh.iiij4u.or.jp

I 鉱物資源の概況

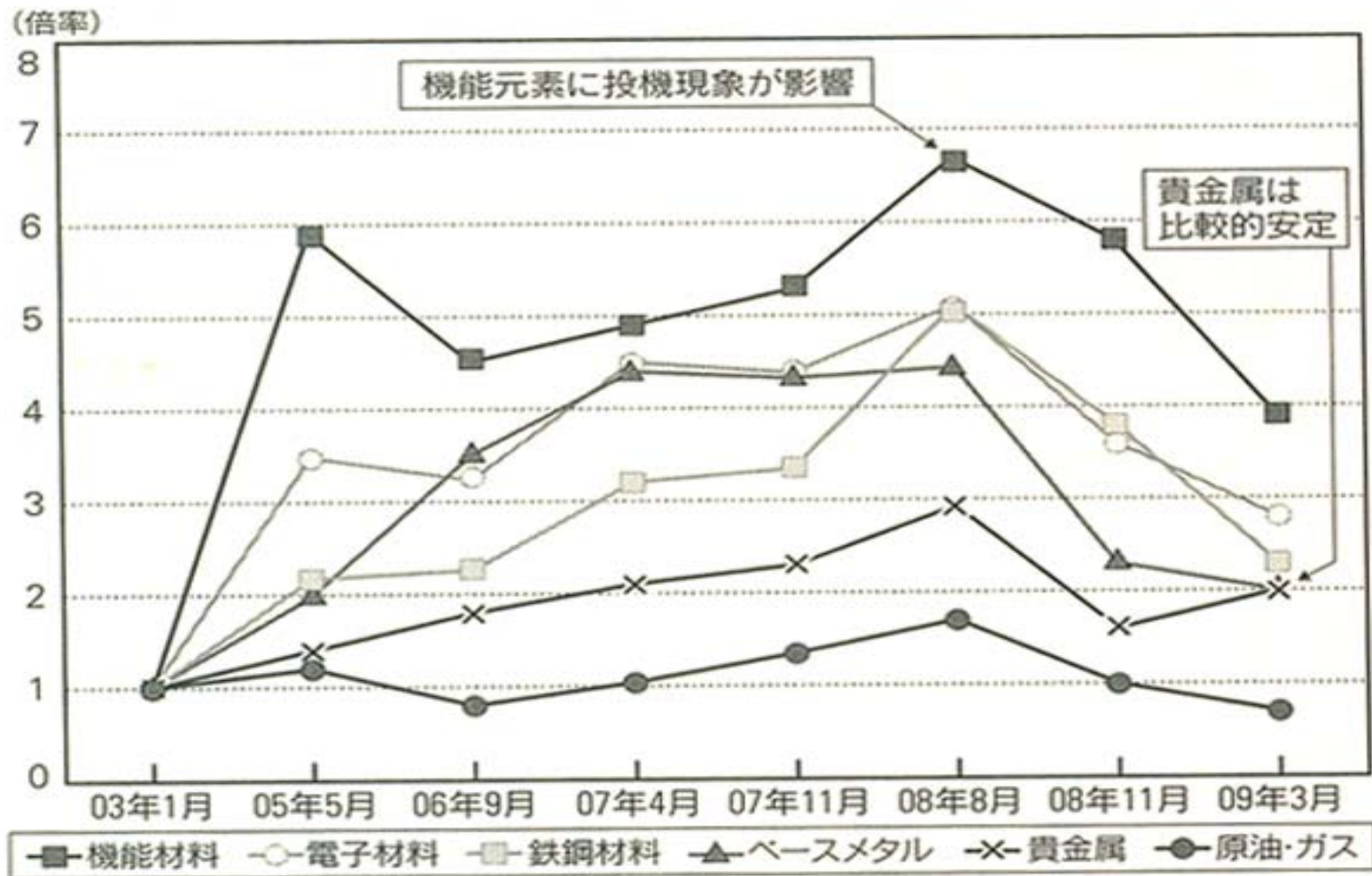
1、高騰する資源価格

- **中国の爆食～2、中国の粗鋼生産量・鉄鉱石・原料炭輸出入推移**
鉄鉱石は世界総需要の1/2を中国が占める、2020年には2/3に達する見込み、銅・石炭も2020年には世界需要の過半を中国が占める。
- **投機マネーの流入**
デリバティブ・商品ETFなどの導入で資源金融商品化、価格の乱高下を増幅。
～3、分野別金属素材の市況変動（2003～2009）
- **自然環境保護のための開発コスト増大。**
レアアースの乱掘による環境破壊の是正など。

2、中国の粗鋼生産量・鉄鉱石・原料炭輸出入推移



3、分野別金属素材の市況変動(2003~2009)



出所;中村繁夫著「レアメタル超入門」p155

4、鉄鉱石～海上輸送の急増

- **鉄鉱石の主要成分は酸化鉄であり、多く使われる鉄鉱石は赤鉄鉱 (Fe_2O_3)、磁鉄鉱 (Fe_3O_4)、褐鉄鉱 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)、砂鉄など。**
- **総金属生産量の95%が鉄 (価格では77%)**
～5、金属材料の世界市場規模
- **鉄鉱石の供給はオーストラリア・ブラジル2国で世界の7割、需要は中国1国で世界の7割、供給は安定。**
- **価格は2009年には下落したものの、2010年に入って急騰、豪州産粉状鉄の日本向けトン当たり価格は、2009年;\$62に対し2010/4~6;\$120、7-9;\$147と2倍以上に上昇。**
～6、鉄鉱石価格の推移(1)2009年まで、(2)2010年

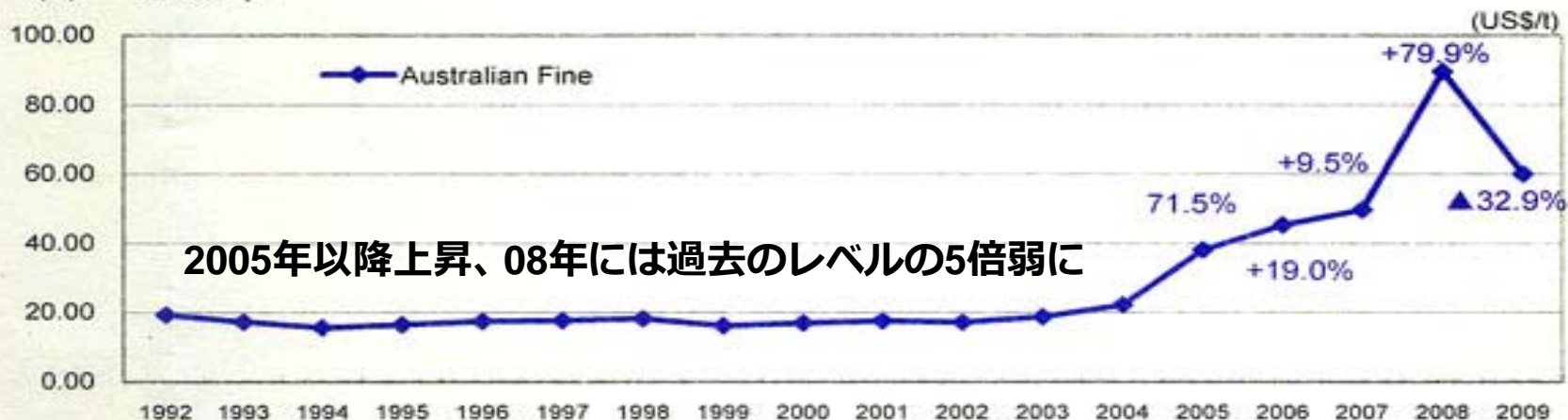
5、金属材料の世界市場規模

1トン当りの価格

粗鋼	⇒	6千億ドル	11.2億MT	\$536
銅	⇒	882億ドル	1,700万MT	\$5,188
アルミ	⇒	586億ドル	3,500万MT	\$1,674
ニッケル	⇒	181億ドル	120万MT	\$15,083
フェロクロム	⇒	61億ドル	600万MT	\$10,166
レアメタル(代表例)				
コバルト	⇒	24億ドル	6万MT	\$40,000
タングステン	⇒	15億ドル	5万MT	\$30,000
レアアース	⇒	12億ドル	12万MT	\$10,000
リチウム	⇒	8億ドル	2万MT	\$40,000

6、鉄鉱石価格の推移(1)2009年まで、(2)2010年

(1) ~2009年



(2) 2010年/中国スポット価格推移



7、銅～中長期的には需給逼迫

- **世界の銅の可採埋蔵量は金属換算で約5億トン。銅価格の高騰と探査努力に伴い可採埋蔵量は増えてはいるが、現在と同量の年間1500万トンずつ採掘すると、あと30年で枯渇。**
- **中国(世界消費の4割)、インドの需要急増が見込まれ、供給不足は不可避。価格は上昇基調。**
- **従来の乾式精錬に加え、採掘現場での湿式製錬であるSX-EW法(solvent extraction - electrowinning)による電気銅生産方法が一般化。硫化鉱には乾式製錬、酸化鉱にはSX-EW法が適用されている。**
- **日本は鉱石を全量輸入、地金の輸出額は世界3位。**

8、アルミニウム～電力価格高騰の影響大

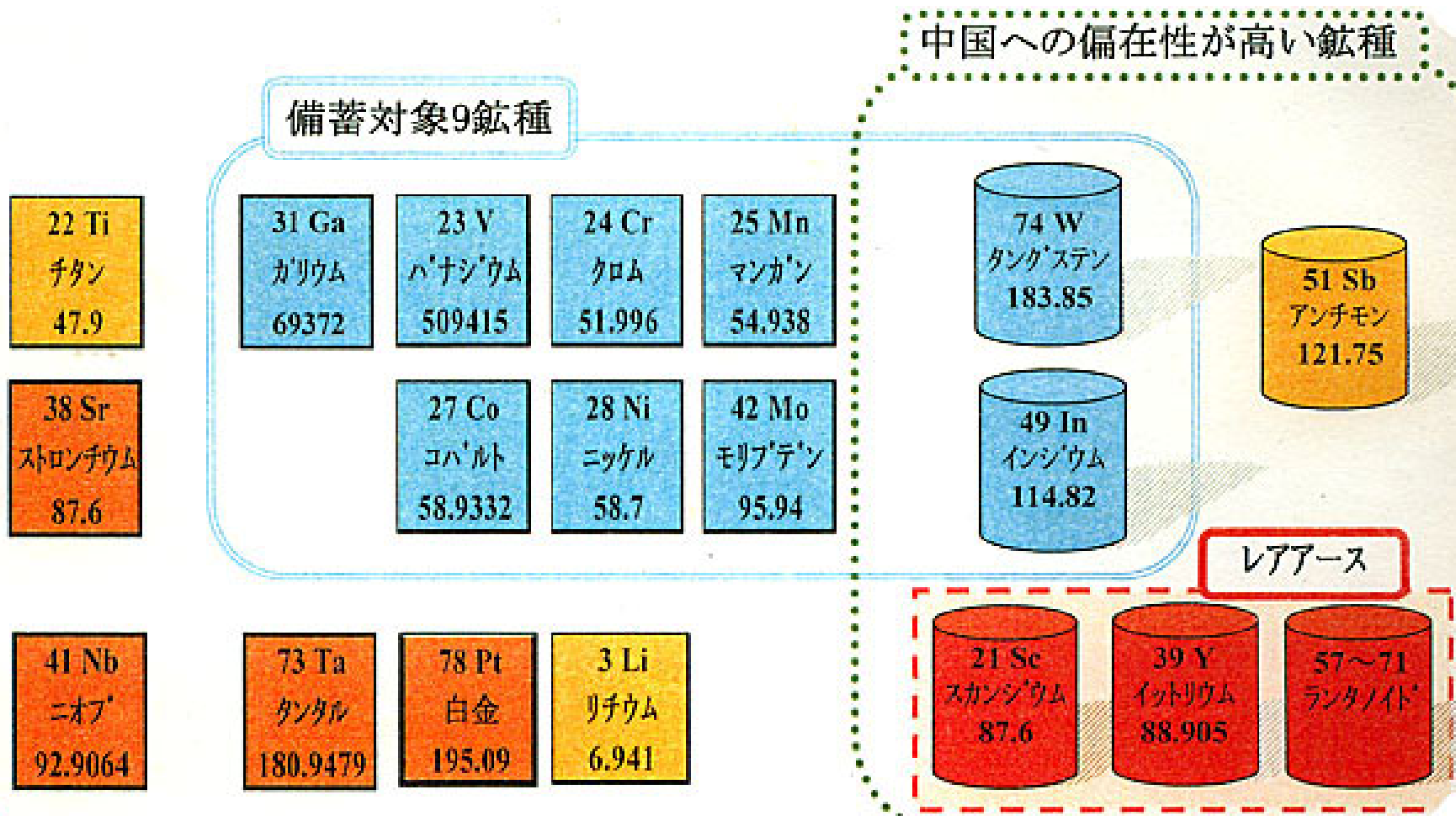
- アルミナ（ボーキサイトを原料としてつくられるアルミに精錬される前の中間生産物）の生産とアルミ地金の生産に分けられ、アルミの生産コストの36%を電力が占めるため、今後エネルギー・コストの安い中東での精錬が拡大。
- 鉄と同様にボーキサイトは豪州とブラジルに偏在するが、埋蔵量は鉄鉱石の2倍以上。
- 純度99.99%以上の高純度アルミはIT産業での需要増もあり、中長期的には価格上昇。
- アルミ地金生産は中・露・豪の三社で50%以上寡占。

Ⅱ レアメタル

1、レアメタル (Specialty Metal、Minor Metal) の概要

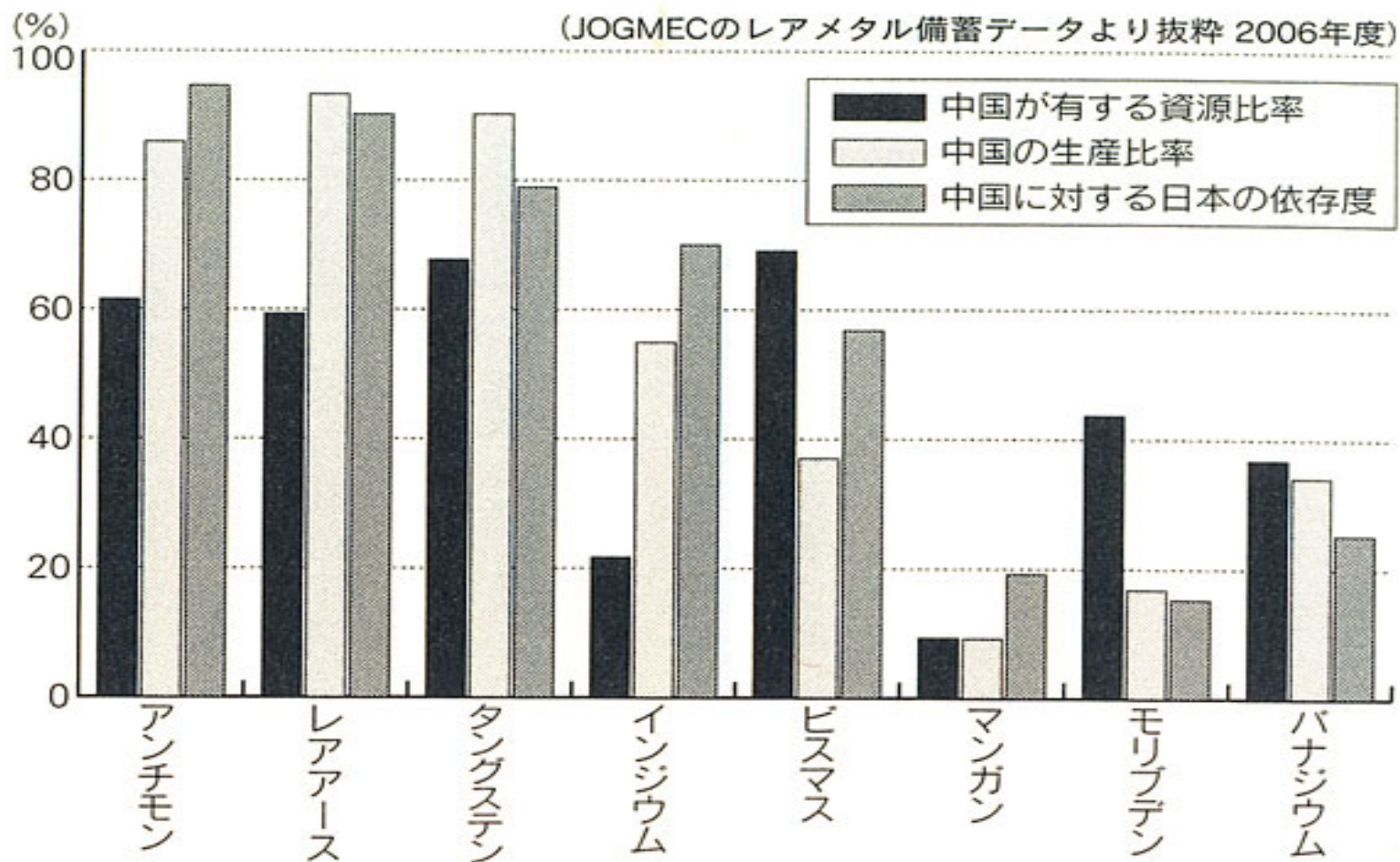
- **天然に存在する92元素のうち、71が金属元素、71元素のうち47～57がレアメタル(ただし、ホウ素は非金属)。～元素周期表参照**
- **埋蔵量が少ないか、埋蔵量は多くても経済的・技術的に取り出すのが難しい金属類の総称、世界共通の定義は存在しない。～別刷図3**
- **政府は31鉱種・47元素をレアメタルに指定しているが、中村繁夫氏はさらに10元素の追加を提唱。**
- **政府は、主要レアメタル17鉱種、備蓄対象9鉱種を指定しているが、重要性・希少性の根拠不明確。～2、主要レアメタル17鉱種**
- **資源の中国偏在が問題視されているが、開発の経済性・環境コストの負荷が課題。～ 3、レアメタルの中国への依存比率**

2、主要レアメタル17鉱種 (重要性・希少性に基づく経産省の定義)



注; レアアースの「ランタノイド15元素」の中では,60ネオジウム、66ジスプロシウムがとくに重要

3、レアメタルの中国への依存比率



出所;中村繁夫著「レアメタル超入門」p48

4、レアタルの特質

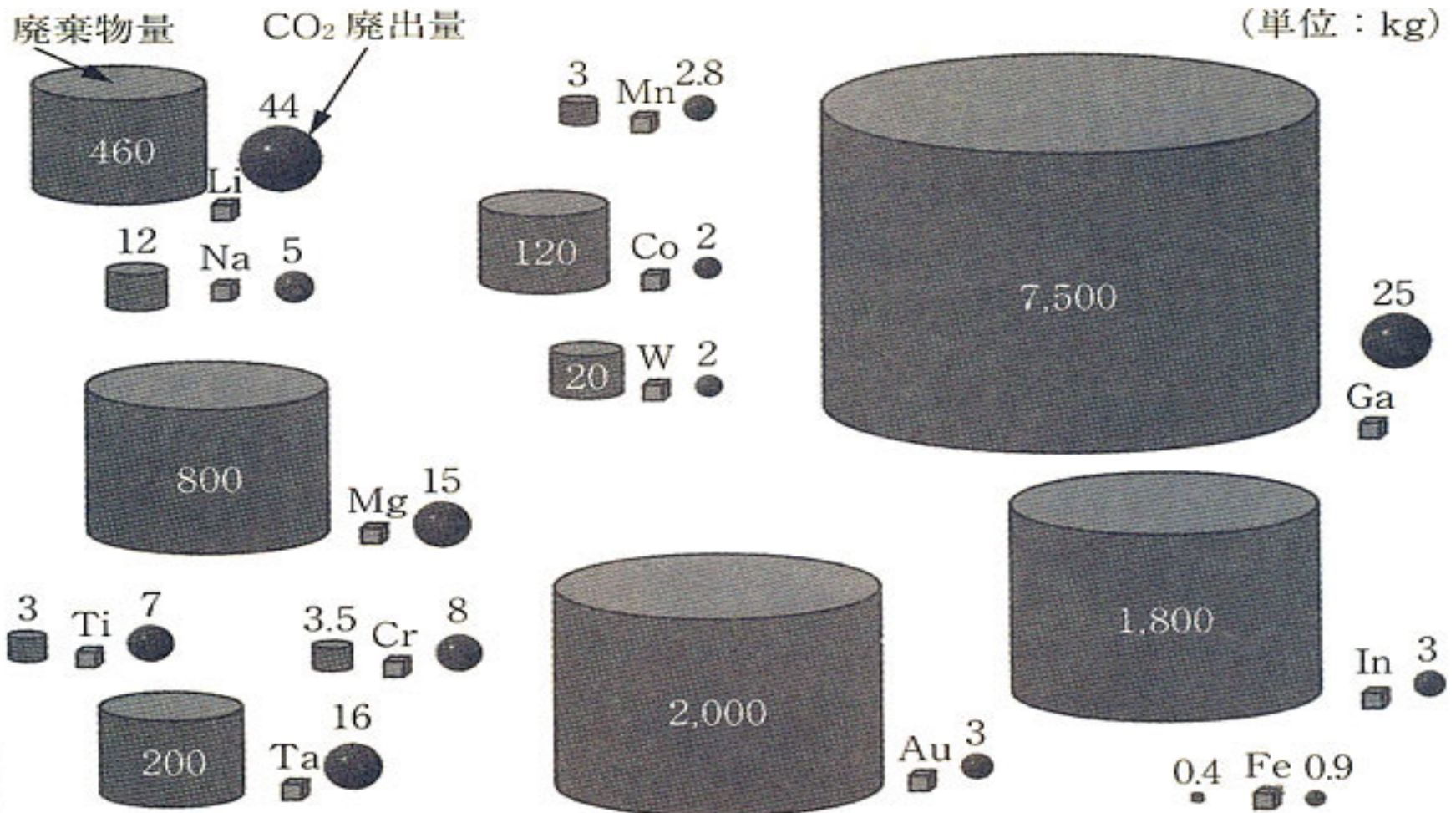
- **産業のビタミン;** レアメタル自体は量的にも市場規模も小さいものの、微量でハイテク機能をもたらす技術革新の鍵。～原発の燃料被覆管にジルコニウム、根岸英一教授の有機合成研究での遷移金属触媒～ 5、レアメタルの取引分類と市況の関係、別刷図2&図4
- **輸出入産業の活力源;** レアメタルは工業素材の中心として、日本の輸出入に大きく貢献（工業素材の輸出は総輸出の1/4で2位、輸入3位、総合1位の素材大国。
- **情報社会の落とし子;** 半導体チップの中に、周期表が入っている。なかでも、金は必須。
- **グリーン・イノベーションにも不可欠;** 太陽電池、燃料電池、二次電池などにシリコン・リチウムなどを大量使用。
- **資源リスクの増大;** 無視できない地球環境の持続可能性。

5、レアメタルの取引分類と市況の関係

	元素名	特徴	市場規模	偏在性	市場の影響
電子材料 元素	インジウム、コバルト、ガリウム、ゲルマニウム、タンタル、ニオブウム、リチウム、ストロンチウム、ビスマス	IT分野であるため、資源問題よりも川下産業の影響を受けやすい。	数百トンから数千トン	偏在性が高いが、副産物でも出る元素ある。	相対取引が中心。投機や操作が入りやすい。
機能性材料 元素	チタン、希土類、ジルコニウム、アンチモン、マグネシウム、タングステン、モリブデン、テルリウム、セレンウム	機能性材料であるため、市場の動きは複雑である。	数千トンから数万トン	偏在性は高い。	人為的な貿易政策に乗りやすい。
構造材用 合金	ニッケル、クロム、マンガン、モリブデン、タングステン、バナジウム、ニオブ、シリコン	ステンレス市場、特殊鋼市場の景況の影響を受けやすい	数万トンから数十万トン	偏在性が高い割には、賦存量は充分。	ステンレス分野は需給の変化が激しい。
ベース メタル	銅、亜鉛、鉛、アルミニウム、錫、ニッケル	相互に影響を受けやすいが、ヘッジファンドも入りやすい。	百万トン以上の市場が対象	偏在はしていない。どこからでも産出する。	金融動向の影響が強い。

出所;中村繁夫著「レアメタル張入門」p154

6、1Kgの素材製造で発生する廃棄物とCo2の量



注； 鉄(右下) 1Kgを得るためには、0.4Kgの廃棄物量と0.9KgのCo2を発生。リチウム(左上) 1Kgでは460Kgの廃棄物と44KgのCo2が発生。出所；原田幸明・河西純一著「動き出したレアメタル代替戦略」p21

7、レアメタルの王様;チタン

- **地殻には豊富に存在するが、含有率が低い。資源的には無尽蔵。～ 8、地殻に存在する元素の量、チタンは9番目に多い。**
- **チタンは表面が酸化物の被膜で保護されるため錆びることなく、空気中では白金や金とほぼ同等の強い耐久性を持つ。かつ、軽量(鉄の0.6倍)で、硬さはアルミの6倍、海水に腐食しないなど抜群の耐腐食性、耐候性がある。～別刷図8&9**
- **チタンは酸素との親和力が極めて強いいため、金属チタン中の酸素などの不純物を効率よく取り除くのが困難。現在の精錬法(クロール法)では、還元反応における膨大な発熱をうまく制御できず、コスト高(1トン当り,100万円以上)となっている。コモンメタル化には、効率的な精錬法の開発が課題。～別刷図5&6**

8、地殻に存在する元素の量

- レアメタルであるマグネシウム、チタン資源は多量に存在、逆にコモン・メタルの銅、亜鉛、鉛は少量しか存在しない。

下表(新クラーク数元素順位)

クラーク数; 地球上の地表付近に存在する元素の割合を火成岩の化学分析に基づいて推定した結果を質量パーセントで表したもの

1	酸素	46.1%	11	リン	0.105%	21	バナジウム	0.012%
2	ケイ素	28.2%	12	マンガン	0.095%	22	クロム	0.010%
3	アルミニウム	8.2%	13	フッ素	0.059%	23	ルビジウム	0.009%
4	鉄	5.6%	14	バリウム	0.043%	24	ニッケル	0.008%
5	カルシウム	4.2%	15	ストロンチウム	0.037%	25	亜鉛	0.007%
6	ナトリウム	2.4%	16	硫黄	0.035%	26	セリウム	0.007%
7	マグネシウム	2.3%	17	炭素	0.020%	27	銅	0.006%
8	カリウム	2.1%	18	ジルコニウム	0.017%	28	ネオジム	0.004%
9	チタン	0.56%	19	塩素	0.014%	29	ランタン	0.004%
10	水素	0.14%	20	タングステン	0.013%	30	イットリウム	0.003%

出所; Wikipedia "Abundance of Elements in Earth's crust, Jefferson Lab reviewed 2007.4.14"

9、リチウム

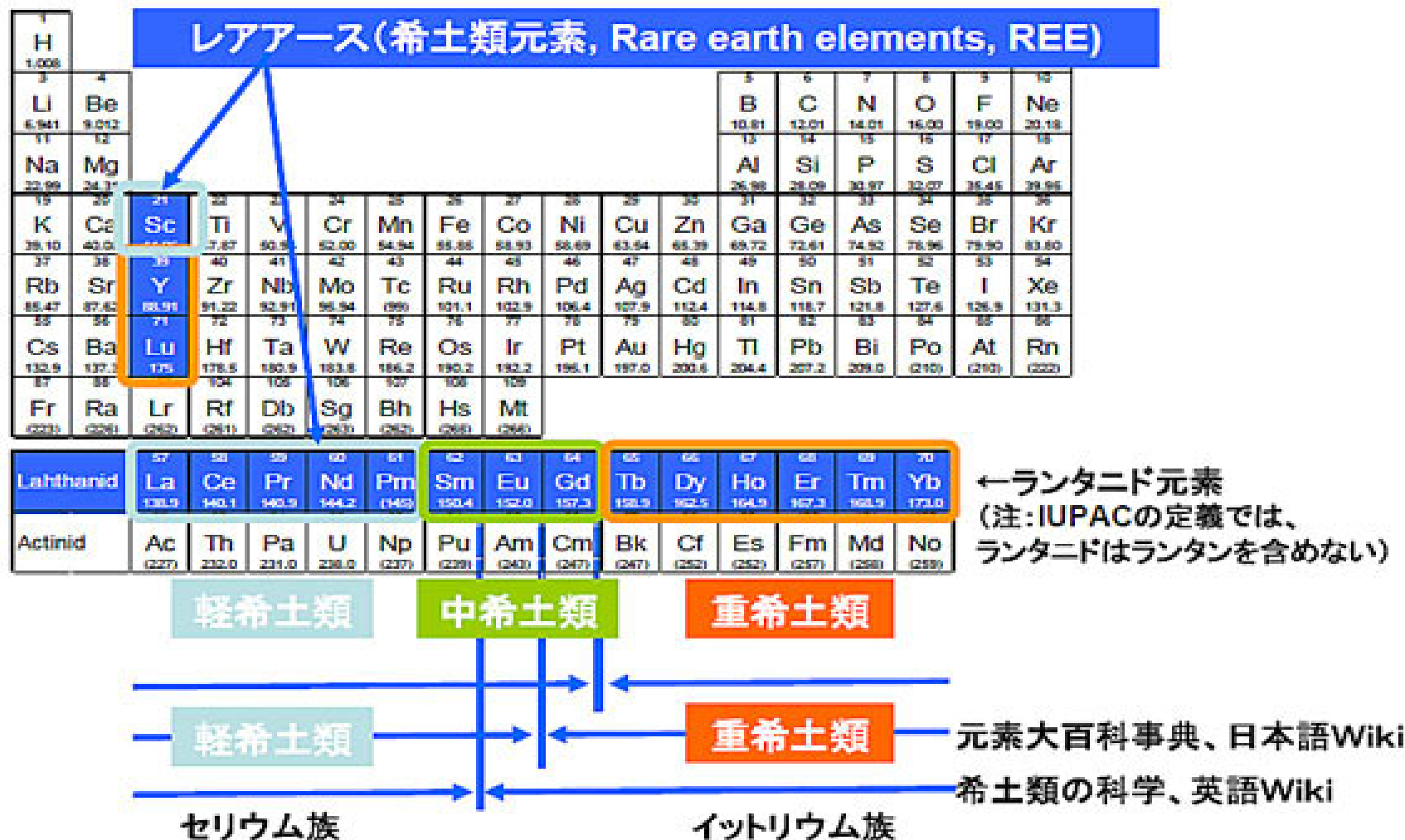
- **リチウムは水素・ヘリウムとともに宇宙が誕生して最初に作られた元素。すべての金属の中でもっとも軽く、水に浮く。全元素の中で、イオン化傾向が最大。**
- **リチウムイオン電池は軽くて大容量、充電効率が高いため、IT機器に加え、ハイブリッド車や電気自動車に利用が広がっており、現在年間2万トン内外の需要が、2020年までに5倍超になるとの予測もある。**
- **埋蔵量は豊富ながら、南米、ことにチリ(アタカマ湖)、ボリビア(ウユニ湖、未採掘)に偏在。コバルト酸リチウムとして使われるので、コバルトの不足が問題。**

Ⅲ レアアース

1、レアアース(希土類)の概要

- スカンジウムとイットリウムにランタノイド15元素を加えた17元素の総称。性質が酷似し、天然に相伴って産出、相互に分離し難い。～2、レアアース17元素、3、レアアース鉱床の種類
- レアアースの世界の埋蔵量はおよそ9,900万トンあり、全世界の年間消費量約15万トンから比較すれば、資源の枯渇は危惧されない。埋蔵量も、中・露・米・豪に分布。しかしながら、近年は産出量の95%以上を中国のバヤンオボー鉱床(バストネサイト)とイオン吸着鉱床により産出されており、供給面での一国依存が問題。～4、希土類元素供給上の中国一国集中の実態
- ネオジム・ジスプロシウムはEVのモーター用の永久磁石の原料として不可欠。

2、レアアース17元素

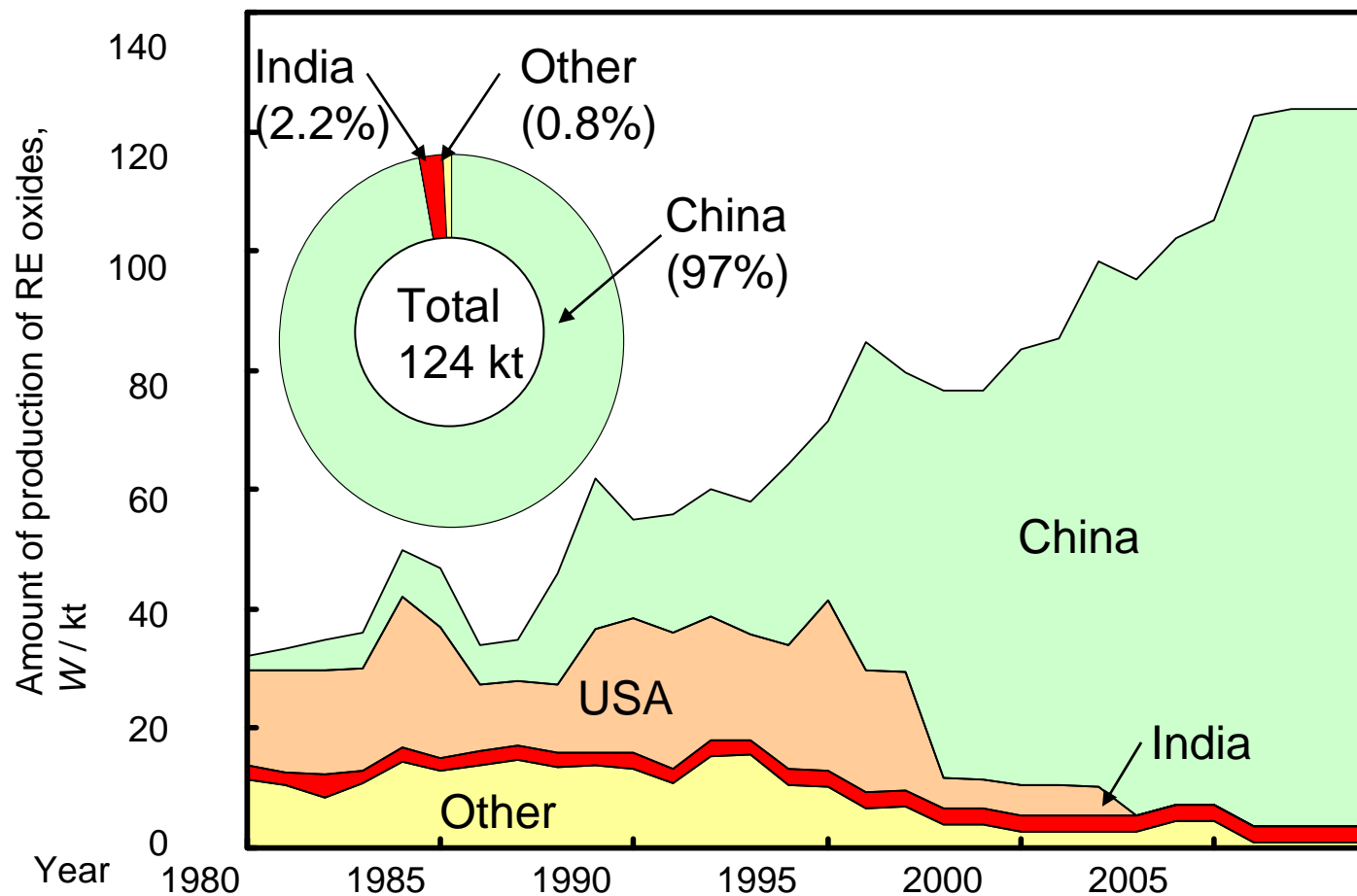


3、レアアース鉱床の種類

鉱物種	鉱床	特長
中・重希土類 (Pm,Sm,Sc,Yほか)	イオン吸着鉱床	希土類元素に富む花崗岩(火成岩の一種)が風化し、粘土鉱物に吸着してできた重希土類に富む鉱床。希土類抽出コストが安価。中国南部(華南地方)に集中して偏在。中国の生産規制、環境破壊などの問題がある。
	アルカリ岩型鉱床	マントル起源のアルカリ火成岩に付随する鉱床。ロシア、アメリカ、グリーンランド、カナダ等に存在し、鉱量は多い。ただし、希土類抽出コストが高く、抽出技術の開発が課題。
軽希土類 主体 (La,Ce,Pr,Nd)	カーボナタイト型鉱床	マントル起源の炭酸塩火成岩に付随する鉱床。アルカリ岩と密接な関係。中国(内モンゴル)、アメリカ(マウンテンパス)、豪州ほかに広く存在。バストネサイト、ドロマイト、重晶石が主要鉱物。
	酸化鉄型鉱床	熱水性または堆積性の鉄酸化物鉱床に希土類鉱物が濃縮。中国に世界最大の鉱床があるほか、南ア、豪州などに存在。
	漂砂型鉱床	豪州、インド、ブラジル、スリランカ、アメリカ、中国ほか世界に広く存在。ただし、希土類抽出廃棄物としてトリウムなどの放射性廃棄物の問題がある。

4、希土類元素供給上の中国一国集中の実態

中国の優良な鉱床・安価な労働力・緩慢な環境規制

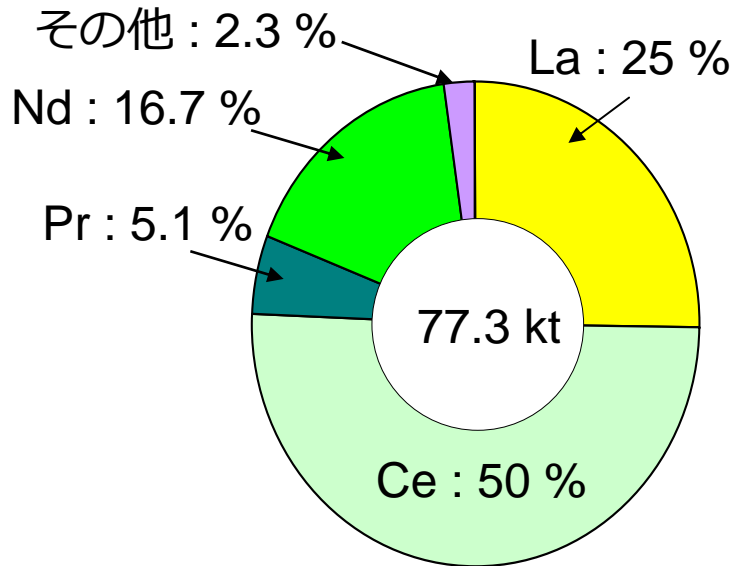


Change in amount of production of REE, and share in supply of REE in 2009

(USGS Mineral Commodity Summaries (2010))

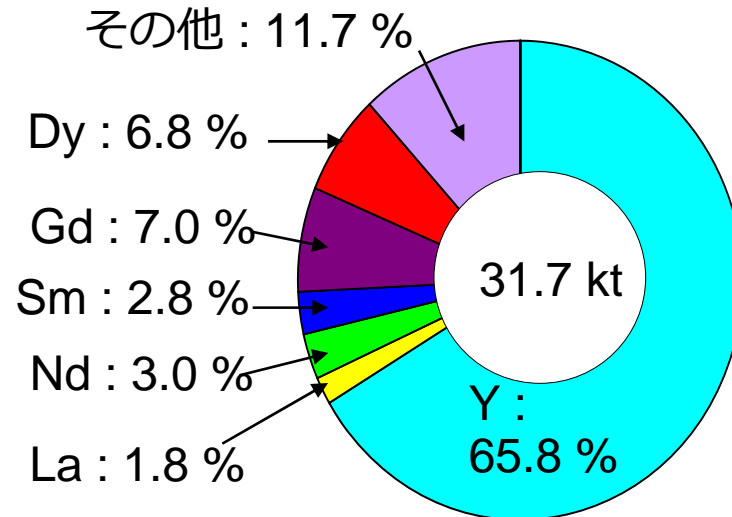
5、中国2大鉱床の代表的な希土類鉱物の組成(2007)

バストネサイト(内モンゴル)



Nd : 1~2 mass% U : 8.7×10^{-4} mass%
 Dy : trace Th: 0.14 mass%

イオン吸着鉱(中国南部)



Nd : 70~200 ppm
 Dy : 40~120 ppm

6、レアアースの中国依存を解決する方策

- ・ **新鉱山の開発;米国マウンテン・パスの再稼動、ベトナム・モンゴル・豪州などでの新規開発計画**
 - ・ **～自然環境保護・回復に要するコストの転嫁が必須**
- ・ **使用量を極小化する技術を含む代替資源の開発**
- ・ **リサイクルによる都市鉱山の活用**
- ・ **戦略的な備蓄の拡大など長期的な資源政策の確立**
- ・ **研究者の人材養成**